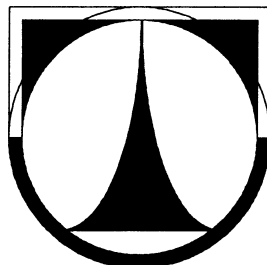


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra vozidel a motorů



**ZAŘÍZENÍ KE ZJIŠŤOVÁNÍ VZNĚTLIVOSTI**

**MOTOROVÝCH PALIV**

**APPLIANCE FOR DETECTING OF INFLAMMABILITY**

**ENGINE FUEL**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

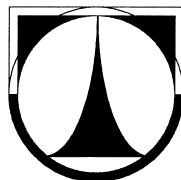
Tomáš Reiner

Květen 2009

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra vozidel a motorů



Obor: B2341 Strojírenství

Zaměření: 2301R022 Stroje a zařízení

Dopravní stroje a zařízení

**ZAŘÍZENÍ KE ZJIŠŤOVÁNÍ VZNĚTLIVOSTI  
MOTOROVÝCH PALIV  
APPLIANCE FOR DETECTING OF INFLAMMABILITY  
ENGINE FUEL**

Bakalářská práce

KVM – BP – 177

Tomáš Reiner

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Josef Laurin

Konzultant bakalářské práce: Ing. Radek Holubec

Počet stran: 34

Počet obrázků: 20

Počet výkresů: 12

Květen 2009

**Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)**

## Zařízení ke zjišťování vznětlivosti motorových paliv

### **Anotace:**

Bakalářská práce charakterizuje cetanové číslo, popisuje metody zjišťování vznětlivosti motorových paliv a řeší návrh konstrukčního řešení systému vstřikování paliva do tlakové komory.

Přílohou bakalářské práce je výkresová dokumentace potřebná k výrobě funkčních členů navrhovaného zařízení.

Klíčová slova: měření, cetanové číslo, zařízení, paliva

## **Appliance for detecting of inflammability engine fuel**

### **Annotation:**

This Bachelor Thesis characterises the cetan number. It describes methods of inflammability engine fuel and solves the proposal of the structural design of the fuel injection to the pressure chamber.

The supplement of this Bachelor Thesis includes graphical documentation that is need for the production of functional unit of suggested appliance.

Key words: measure, cetan number, appliance, fuel

Desetinné třídění:

Zpracovatel:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno :

2009

Archivní označení zprávy:

## Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinností informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V ..... dne .....

.....

podpis

## Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Josefu Laurinovi, CSc. a konzultantovi Ing. Radku Holubcovi za jejich čas, odbornou pomoc, připomínky a cenné rady.

## Seznam symbolů a jednotek

CČ	cetanové číslo	[-]
CI	cetanový index	[-]
D	hustota vzorku při 15°C	[g/cm <sup>3</sup> ]
T	teplota, při které predestiluje 50% obj. vzorku	[°C]
CN <sub>IQT</sub>	cetanové číslo naměřené přístrojem IQT	[-]
CN <sub>FIT</sub>	cetanové číslo naměřené přístrojem FIT	[-]
ID <sub>IQT</sub>	cetanové číslo naměřené přístrojem IQT	[-]
ID <sub>FIT</sub>	cetanové číslo naměřené přístrojem FIT	[-]
CR	common rail	[-]
λ	součinitel přebytku vzduchu	[-]

## Obsah

1	Úvod .....	9
2	Způsob zjišťování vznětlivosti paliv pro vznětové motory .....	10
2.1	Charakteristika cetanového čísla .....	10
2.2	Metody zjišťování hodnoty cetanového čísla .....	11
2.2.1	Motorová metoda .....	11
2.2.2	Stanovení cetanového indexu laboratorní metodou .....	11
2.2.3	Stanovení cetanového čísla z infračerveného spektra .....	12
2.2.4	Stanovení cetanového čísla pomocí průtahu vznícení .....	12
3	Návrh laboratorního zařízení .....	14
3.1	Sestava zařízení .....	14
3.2	Uložení zařízení .....	17
3.3	Přívod vzduchu .....	18
3.4	Palivový systém .....	19
3.4.1	Hlavní komponenty Common railu .....	20
3.4.2	Pohon čerpadla .....	26
3.4.3	Uložení paliva .....	29
3.4.4	Uspořádání palivového systému .....	31
4	Vyhodnocení cetanového čísla .....	32
5	Závěr .....	33
	Seznam použité literatury .....	34



# 1 Úvod

Důležitým parametrem motorových paliv pro vznětové motory je jejich vznětlivost vyjádřená cetanovým číslem. Ve třicátých letech minulého století se vznětlivost paliva začala měřit na zkušebním jednoválcovém motoru. Protože zkouška na motoru je poměrně náročná, hledal se jiný způsob měření. Koncem devadesátých let minulého století se k zjišťování vznětlivosti paliv začali ojediněle používat přístroje sledující průběh spalování paliva vstříknutého do komory naplněné ohřátým stlačeným vzduchem. Tento princip zjišťování vznětlivosti využíváme k návrhu funkčního vzorku laboratorního měřicího zařízení.

Předmětem bakalářské práce je návrh vstřikovacího zařízení, který je součástí zařízení na zjišťování vznětlivosti paliva. Sestavení kompletního zařízení má na starost Ing. Radek Holubec. Pro elektronickou část je použita a upravena řídící jednotka, kterou zhotovil v rámci své diplomové práce Ing. T. Zvolský na Fakultě mechatroniky, informatiky a mezioborových studií TUL.

Úvodní část bakalářské práce je věnována charakteristice cetanového čísla a stručnému popisu metod zjišťování vznětlivosti paliv pro vznětové motory. Další část tvoří schéma s popisem celého laboratorního měřicího zařízení. Hlavní část bakalářské práce tvoří návrh způsobu vstřikování paliva do spalovací komory.

## 2 Způsoby zjišťování vznětlivosti paliv pro vznětové motory

### 2.1 Charakteristika cetanového čísla

Spalovací vlastnosti nafty se vyjadřují cetanovým číslem CČ. Cetanové číslo charakterizuje kvalitu nafty jako ekvivalent oktanového čísla u benzínu a je měřítkem pro průběh spalování motorové nafty.

Principem stanovení cetanového čísla je, obdobně jako při zkoušce oktanového čísla, srovnávání schopností vznícení zkoušeného paliva se směsí dvou standardů. Pro CČ = 0 byl původně vybrán 1-metylnaftalen, poměrně odolný proti vznícení a pro CČ = 100 byl vybrán n-hexadekan (cetan), s dobrou schopností vznícení. To byla primární referenční paliva. V roce 1962 byl 1-metylnaftalen nahrazen izocetanem (2,2,4,4,6,8,8-heptametylnonanem), který má cetanové číslo 15 a používá se přepočty, aby výsledek s novým referenčním palivem byl stejný. V současné době se jako referenční paliva používají nafty s plnou destilační křivkou, z nichž jedna má cetanové číslo 30 a druhá 70. Vhodným způsobem přepočtu se dostávají výsledky odpovídající zkoušce s primárními referenčními palivy.

Vztah cetanového čísla paliva k funkci motoru je velmi složitý. Závisí totiž na mnoha faktorech, jako je velikost kapiček rozprášeného paliva, promísení se vzduchem a další. Cetanové číslo má vliv na studený start, hluk a emise motoru.

Malé cetanové číslo způsobuje, že prodleva vznícení je dlouhá a v okamžiku vznícení je ve spalovacím prostoru rozprášeno a částečně i odpařeno velké množství paliva. Současně se tedy vznítí velké množství paliva, což způsobí příliš rychlý nárůst tlaku ve spalovacím prostoru motoru. Motor je hlučný a vyznačuje se tzv. tvrdým chodem. Nízké cetanové číslo negativně ovlivňuje spotřebu a výkon motoru.

Velké cetanové číslo způsobuje, že prodleva vznícení je krátká, palivo začíná hořet velmi blízko u trysky. To vede k tomu, že palivo je nedostatečně promíšeno se vzduchem, dochází k nedokonalému hoření za značného vývinu

sazí. Blízkost plamene u trysky pak často způsobuje její zapečení, tj. vznik karbonových úsad ucpávající výstřikové otvůrky trysky, případně zadření jehly trysky. Proto se otázky optimálního průběhu spalování řeší spíše vhodnou konstrukcí spalovacího prostoru (umístěním vstřikovací trysky, tvarem hlavy pístu a uspořádáním vstupních ventilů) a volbou správného načasování vstřikované dávky paliva s umožněním několika samostatných vstřiků za jeden pracovní cyklus (předstřík paliva, hlavní vstřík a dostřík). Cetanové číslo většiny motorových naft se pohybuje v rozmezí 45 – 55.

Pro blízkou budoucnost se počítá se zvýšením požadavku na cetanové číslo na minimálně 58 jednotek. Moderní motory s elektricky řízeným vstřikováním budou pravděpodobně schopny, vzhledem k možnosti dokonalé regulace začátku a průběhu vstřiku, využít přednosti paliva s vyšším cetanovým číslem i ke zvýšení výkonu, zejména při velkých otáčkách.

## **2.2 Metody zjišťování hodnoty cetanového čísla**

### **2.2.1 Motorová metoda**

Tato metoda je nejvíce známá a nejpoužívanější metoda stanovení cetanového čísla. Cetanové číslo se zkouší na jednoválcovém motoru vyvinutém ve třicátých letech. Motor má plynule měnitelný kompresní poměr, ale nikoliv jako motor pro stanovení oktanového čísla změnou polohy válce a hlavy, ale zasouváním horizontálně uloženého pístu (plunžru) jemným šroubovým mechanismem do spalovacího prostoru v režimu konstrukčních otáček. Porovnává se konkrétní vzorek paliva s referenčními vzorky a sleduje se, zda průběh zážehu je v obou případech při změnách kompresního poměru stejný. Protože motorová zkouška je poměrně náročná, hledají se další rychlejší metody získání hodnot cetanového čísla.

### **2.2.2 Stanovení cetanového indexu laboratorní metodou**

Cetanový index se stanoví výpočtem z výsledků dvou jednoduchých laboratorních zkoušek: zkoušky hustoty a zkoušky destilace. Cetanový index

nevychází u téhož paliva stejně jako cetanové číslo. Prakticky vždy je o několik jednotek nižší, ale do značné míry v sobě odráží cetanové číslo. Existuje více matematických vztahů pro výpočet cetanového indexu. Např. výpočet cetanového indexu podle normy ASTM D976 je založen na znalosti hustoty a teploty, při které predestiluje 50 % objemu zkoušeného paliva. Hodnota cetanového indexu se pak vypočítá pomocí vztahu (1)

$$CI = 454,74 - 1641,416 \cdot D + 774,74 \cdot D^2 - 0,554 \cdot T + 97,803 \cdot (\log T)^2 \quad (1)$$

Kde: D – hustota vzorku při 15°C vyjádřená v g/cm<sup>3</sup>

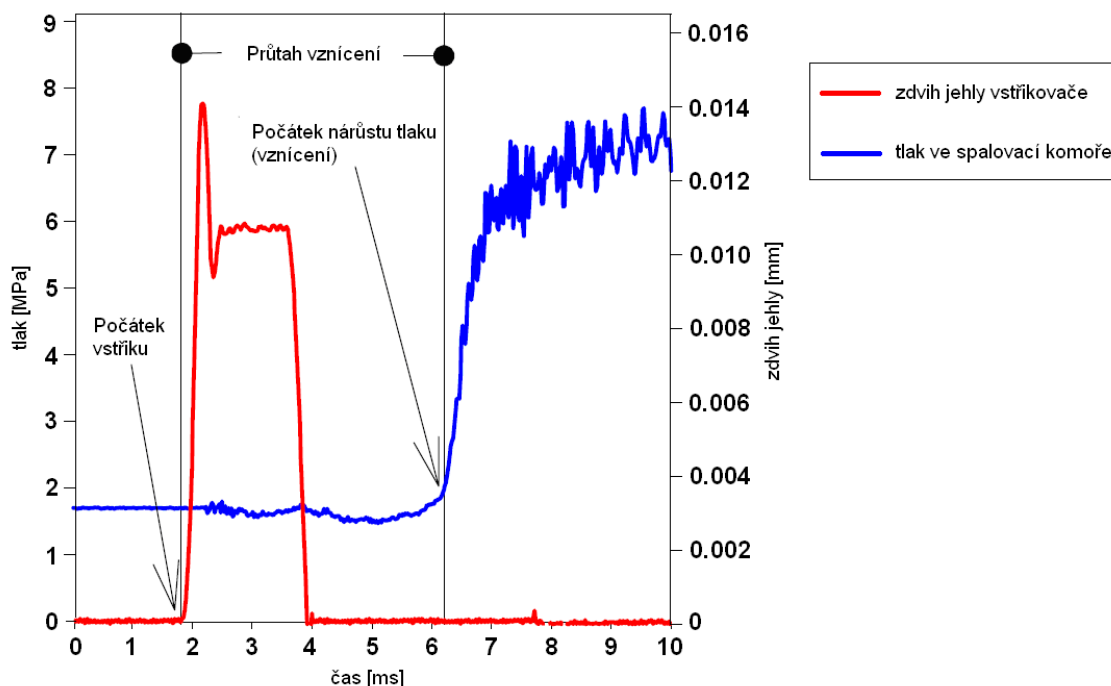
T – teplota (°C), při které predestiluje 50% obj. vzorku.

### **2.2.3 Stanovení cetanového čísla z infračerveného spektra**

Infračervená spektrometrie je založena na principu interakce elektromagnetického záření infračervené oblasti s molekulami analyzované látky. Při absorpci záření dochází ke změnám rotačních a vibračních stavů molekul. Tato metoda závisí na přesné kalibraci a matematickém algoritmu měřicího přístroje. Samotná kalibrace vyžaduje několik měření vzorku paliva proměřeného na klasické motorové metodě.

### **2.2.4 Stanovení cetanového čísla pomocí průtahu vznícení**

Metoda je založena na měření času průtahu vznícení. To je dobou od počátku vstřiku měřeného paliva do měřicího válce a počátkem nárůstu tlaku (vznícení), jak je znázorněno na obr. 2.1.



Obr. 2.1: Průběh zdvihu jehly vstřikovače a tlaku [10]

Výsledné cetanové číslo je vypočteno pomocí rovnice, do které se dosadí hodnota průtahu vznícení v ms. V současné době existují dva přístroje využívající metody získání cetanového čísla pomocí průtahu vznícení. Jedná se o přístroje firmy Fueltech Norway FIT (Fuel ignitron tester) a firmy Waukesha Engine Division Dresser Industries Inc. IQT (Ingitron quality tester).

Vztahy pro stanovení cetanového čísla FIT (2) a IQT (3).

$$CN_{IQT} = 83,99 * (ID_{IQT} - 1,512)^{-0,658} + 3,547 \quad (2)$$

$$CN_{FIT} = 83,99 * ((0,995 * ID_{FIT} - 0,614) - 1,512)^{-0,658} + 3,547 \quad (3)$$

Kde:  $ID_{IQT}$  – průtah vznícení naměřený přístrojem IQT v ms

$ID_{FIT}$  – průtah vznícení naměřený přístrojem FIT v ms

Oblast použití jednotlivých měřicích zařízení je u přístroje IQT stanovena na  $C\check{C} = 33 - 60$  a pro FIT  $C\check{C} = 40 - 60$ .

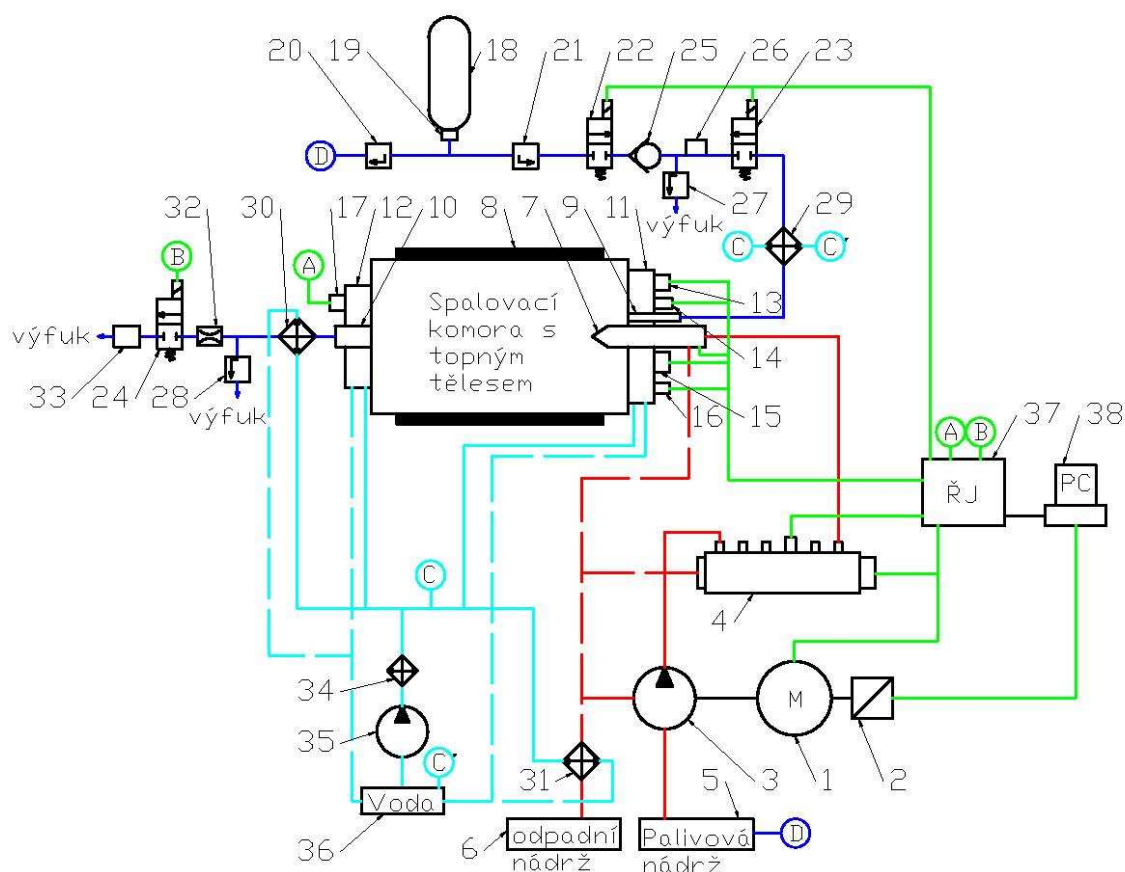
### 3 Návrh laboratorního zařízení

Při navrhování zařízení se vychází z principu, na kterém pracuje zařízení IQT (Ignition quality tester) firmy Waukesha Engine Division Dresser Industrie Inc, vstříknutí zkoušeného vzorku do stlačeného ohřátého vzduchu a zaznamenává se průběh tlaku.

Navrhované laboratorní zařízení musí splňovat určité požadavky pro posouzení zkoušeného paliva. Tím je volba velikosti tlaku vstřikovaného paliva, možnost vstříknutí libovolného objemu dávky paliva a nastavitelné hodnoty teploty a tlaku ve spalovací komoře.

#### 3.1 Sestava zařízení

Schéma navrhovaného měřicího zařízení je znázorněno na obr. 3.1.



Obr. 3.1: Schéma měřicího zařízení

### Seznam pozic ze schématu:

1 – elektromotor	18 – tlaková láhev se stlačeným vzduchem
2 – frekvenční měnič	19 – láhvvý uzavěr
3 – vysokotlaké čerpadlo	20 – redukční ventil (28 barů)
4 – zásobník paliva - rail	21 – redukční ventil (15 barů)
5 – palivová nádrž	22, 23, 24 – elektromagnetické ventily
6 – odpadní nádrž	25 – zpětný ventil
7 – injektor	26 – snímač tlaku
8 – spalovací komora s topným tělesem	27 – přetlakový ventil (26 barů)
9 – vstup pro přívod vzduchu	28 – přetlakový ventil (50 barů)
10 – výstup spalin	29, 30, 31 – chladiče
11,12 – vodou chlazené mosazné vložky	32 – škrtící ventil
13 – termočlánek pro měření stěny komory	33 – tlumič
14 – endoskop	34 – ventilátor
15 – piezoelektrický snímač tlaku	35 – topenářské čerpadlo
16 – svícení	36 – nádrž s vodou
17 – termočlánek pro měření teploty vzduchu	37 – řídicí jednotka
	38 - PC

Navrhované měřicí zařízení se skládá ze spalovací komory, ze systému pro přívod paliva, ze systému pro přívod vzduchu, chladicího zařízení a řídicí jednotky.

K přívodu paliva do spalovací komory (poz. 8) je využit systém Common rail, kde vysokotlaké čerpadlo (poz. 3), poháněné elektromotorem (poz. 1) s frekvenčním měničem (poz. 2), čerpá palivo z nádrže (poz. 5) do railu (poz. 4). Palivo z nádrže do čerpadla je přiváděno pomocí stlačeného vzduchu z tlakové láhve. Plnicí tlak je nastaven redukčním ventilem (poz. 20). Z railu je palivo dopravováno do jednoho injektoru (poz. 7), který je umístěn ve spalovací komoře. Palivo je z nádrže do čerpadla přepravováno gumovou hadicí, z čerpadla do railu a z railu do injektoru je přepravováno vysokotlakými trubkami.

Spalovací komora je rozdělena do tří částí. Střední část je vyhřívaná topným tělesem. V ose vstupního čela je ve vodou chlazené mosazné vložce (poz. 11) umístěn vstřikovač. Dále je vstupní čelo osazeno termočlánekem pro

měření teploty stěny komory (poz. 13), endoskopem (poz. 14), piezoelektrickým snímačem tlaku (poz. 15) a okénkem se safírovým sklíčkem, kam je přivedeno svícení (poz. 16). Součástí čela je i vstup pro přístup syntetického vzduchu z tlakové láhve (poz. 9). Třetí částí spalovací komory je výstupní čelo, na kterém je výstup spalin (poz. 10) a termočlánek pro měření teploty vzduchu v komoře (poz. 17). Výstupní čelo je stejně jako vstupní osazeno mosazným chlazením (poz. 12).

Vzduch je do spalovací komory dopravován z tlakové láhve (poz. 18) s láhiovým uzávěrem (poz. 19) přes redukční ventil (poz. 21) a dva elektromagnetické ventily (poz. 22, 23). Ty jsou umístěny tak, aby udržovali přetlak pouze v jednom směru a plnily spalovací komoru. První ventil uzavírá přívod vzduchu z tlakové láhve a druhý slouží k uzavírání spalovací komory. Mezi ventily je umístěn zpětný ventil (poz. 25), přetlakový ventil (poz. 27) a snímač tlaku (poz. 26). Před vstupem do komory prochází ještě plyn chladičem (poz. 29). Po dokončení hoření a zaznamenání hodnot jsou spaliny vypouštěny pomocí dalšího elektromagnetického ventilu (poz. 24), který slouží i k propláchnutí komory. Vzhledem k vysokým teplotám spalin je před ventilem umístěn chladič (poz. 30), škrťací ventil (poz. 32) a přetlakový ventil (poz. 28). Spaliny před výfukem prochází ještě tlumičem (poz. 33).

Chladičí okruh je tvořen nádrží s vodou (poz. 36), topenářským čerpadlem (poz. 35) a ventilátorem (poz. 34). Voda je rozvedena do pěti částí. V sestavě měřicího zařízení je chlazeno přebytečné palivo chladičem (poz. 31), palivo zahřáté v oběhu je odváděno do odpadní nádrže (poz. 6) z čerpadla, railu a vstřikovače. Dále je chlazeno vstupní čelo, aby nedocházelo k zahřívání injektoru a komponentů od topného tělesa. Výstupní čelo je chlazeno, aby částečně zchladilo spaliny, a aby případně mohl být termočlánek nahrazen snímačem tlaku. Spaliny jsou chlazeny na výstupu z komory a dále je chlazen i vzduch před vstupem do komory.

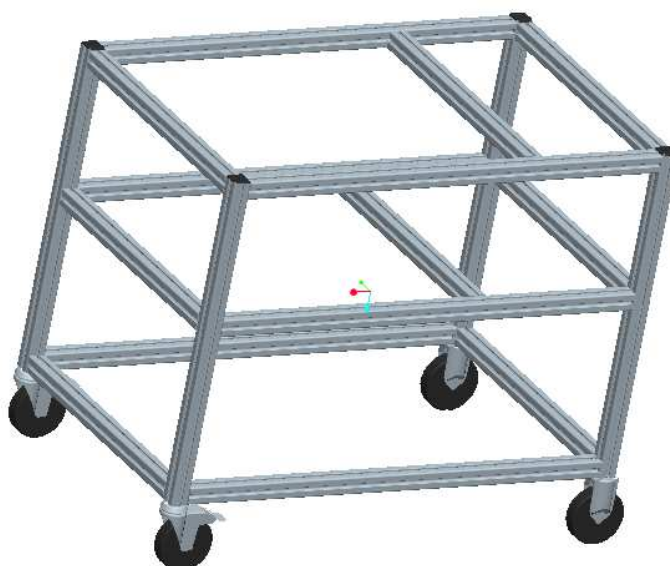
Měřicí zařízení je osazeno řídicí jednotkou (poz. 37), která je také opatřena ovládacími prvky, do kterých jsou přivedeny signály ze všech ovládacích a měřících částí zařízení. Tato jednotka je napojena přes sériové rozhraní do



počítače (poz. 38), ve kterém jsou vyhodnoceny tlaky ve spalovací komoře, teploty, stanový průtahy vznícení a vypočítá hodnotu cetanového čísla.

### 3.2 Uložení zařízení

Zařízení na měření cetanového čísla je uloženo na středně velkém vozíku, znázorněný na obr. 3.2. Ten je sestaven z hliníkových profilů o vysoké pevnosti, přesnosti a variabilitě. Rozměry základního rámu jsou 1080x750x680 mm (délka x výška x šířka). Vozík obsahuje ještě jedno mezipatro, které je vzdálené 320 mm od patra horního. Toto patro je v případě potřeby možno posunout. Připevnění součástí zařízení k profilovým tyčím je řešeno šrouby se závitem M8.

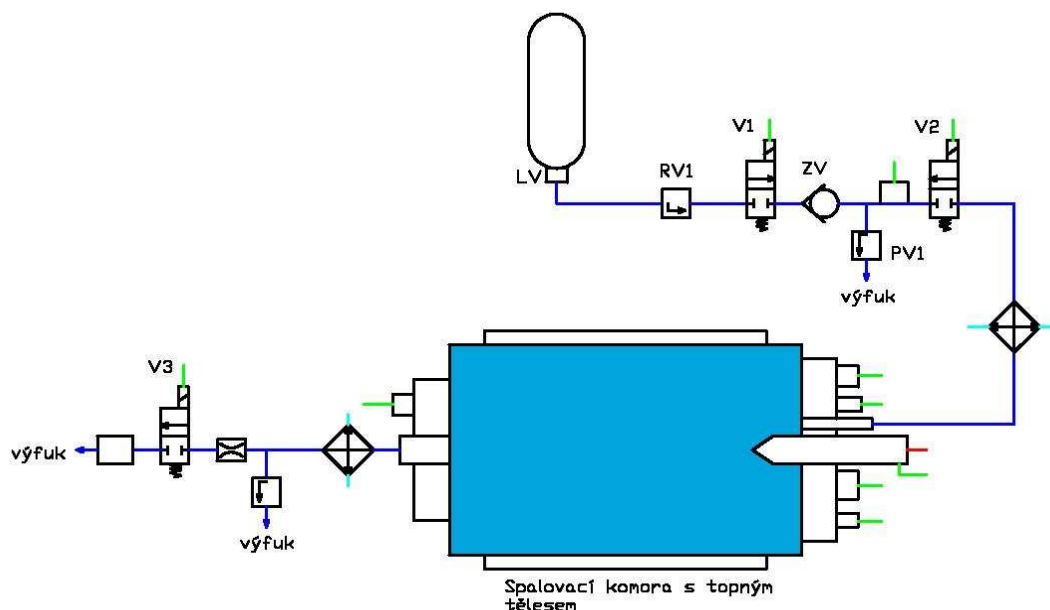


*Obr. 3.2: Vozík pro umístění laboratorního měřicího zařízení vymodelovaný v programu Pro/Engineer*

Mimo vozík je pouze tlaková láhev, to zajišťuje částečnou mobilitu celého zařízení. Jednotlivé komponenty jsou na vozíku umístěny tak, aby k nim byl snadný přístup, a aby byla jejich snadná montáž a demontáž.

### 3.3 Přívod vzduchu

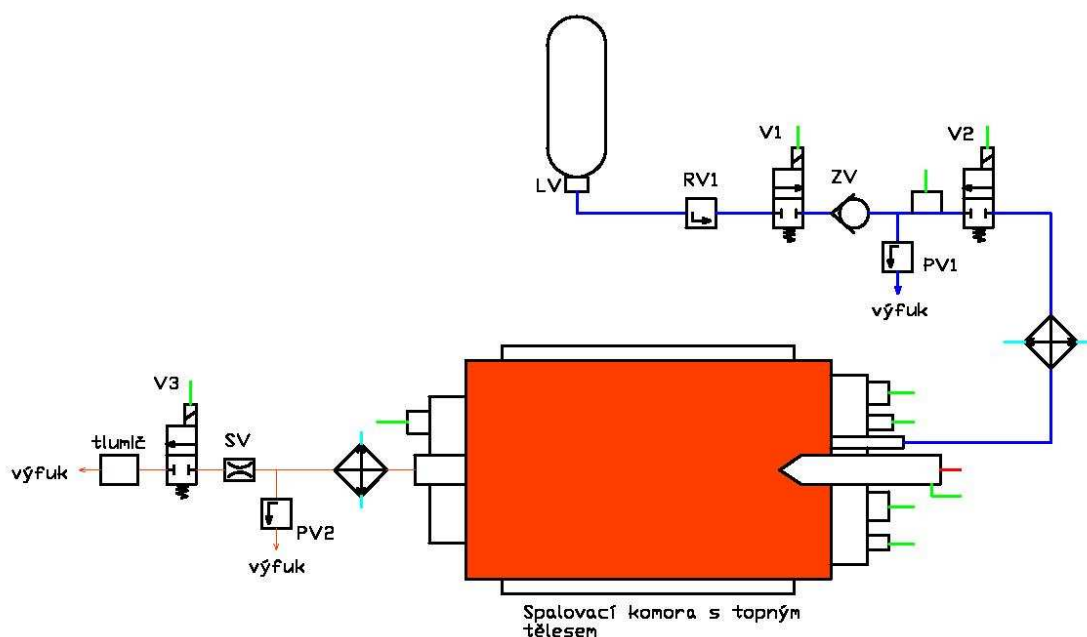
Syntetický vzduch je uložen v tlakové láhvi o 150 barech. Otevřením láhvého uzavíracího ventilu začne proudit vzduch. Do spalovací komory, která je zahřívána topným tělesem, se vzduch dopravuje přes vysokotlaký rozvodový redukční ventil RV1 na jehož výstupu je tlak maximálně 28 barů. Elektromagnetické ventily V1 a V2 jsou otevřené. Mezi oběma ventily je umístěn snímač tlaku, který kontroluje správnost nastaveného tlaku z redukčního ventilu RV1, a pojistný ventil PV1 s odpouštěcím tlakem 26 barů. Po naplnění spalovací komory brání zpětnému proudění vzduchu jak elektromagnetický ventil V2, tak zpětný ventil ZV. Před vstupem do spalovací komory prochází vzduch ještě chladičem. Chladič je v oběhu umístěn, aby chladil vzduch, který se vrací zahřátý ze spalovací komory zpět do trubek. Celý proces přívodu vzduchu trvá několik setin sekundy. Přívod vzduchu do spalovací komory je znázorněn na obr. 3.3.



Obr. 3.3: Přívod vzduchu do spalovací komory

Po naplnění komory, kde je tlak 20 - 25 barů, podle nastavení, dochází k uzavření elektromagnetických ventilů V1 a V2 a je vstřikováno palivo. Po vstříknutí paliva je součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$  přibližně 8.

Po skončení hoření a zaznamenání všech měřených hodnot, jsou vzniklé spaliny ze spalovací komory odváděny otevřením třetího elektromagnetického ventilu V3, který byl doteď uzavřen. Spaliny mají vysokou teplotu, proto je za výstupem spalin ze spalovací komory umístěn chladič. Za chladičem je umístěn pojistný přetlakový ventil PV2 s odpouštěcím tlakem 50 barů. Před vstupem spalin do elektromagnetického ventilu V3 prochází spaliny ještě škrťacím ventilem SV, kde také dochází k ochlazení spalin. Před samotným výfukem spalin je umístěn tlumič pro snížení hluku. Odvod spalin ze spalovací komory je znázorněn na obr. 3.4.



*Obr. 3.4: Odvod spalin ze spalovací komory*

Po odvodu spalin ze spalovací komory zůstává elektromagnetický ventil V3 otevřený a otevírají se ventily V1 a V2, tím dochází k proplachu spalovací komory. Po vypláchnutí se ventil V3 uzavře a spalovací komora je opět naplňována.

### 3.4 Palivový systém

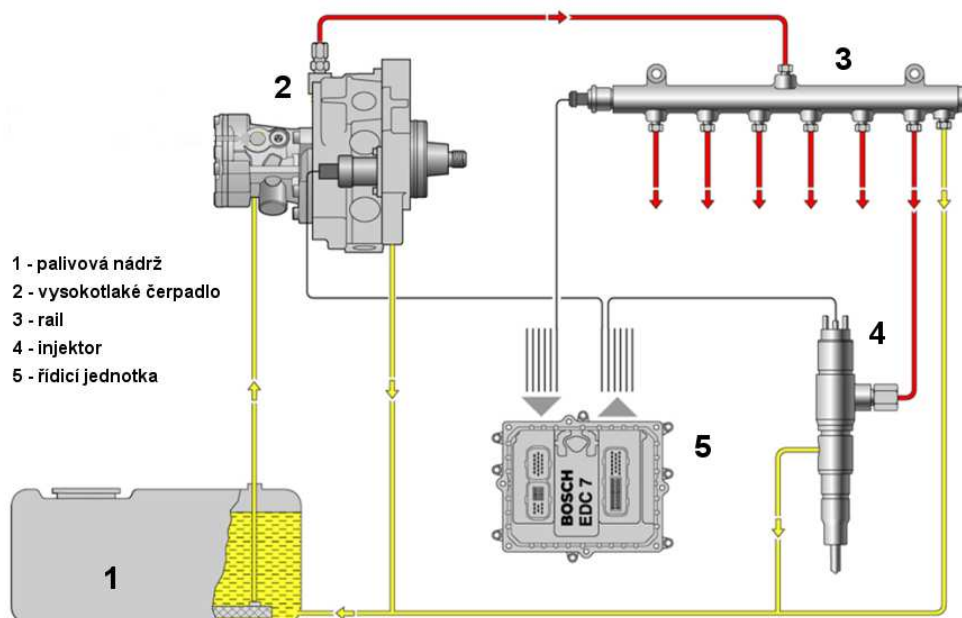
K vstřikování paliva do spalovací komory je použit systém Common rail od firmy Bosch Jihlava. Jedná se o systém přímého vstřikování paliva s přeplňováním a elektronickou regulací. Hlavní výhodou CR je vstřikování

paliva při velmi vysokém tlaku. Tak dochází k lepšímu rozptýlení paliva a účinnějšímu spálení směsi. Injektor je pomocí vysokotlaké trubky napojen na rail, společný zásobník stlačeného paliva. Odtud vzešel i název systému Common rail. Vysoký tlak v railu je generován zpravidla pomocí vysokotlakého čerpadla. Soustava se také vyznačuje tím, že tlak paliva se vytváří nezávisle na průběhu vstřikování.

K měření CČ je použit CR první generace, který dosahuje s regulací ve vysokotlaké části hydraulického okruhu tlaku 135 MPa.

### 3.4.1 Hlavní komponenty Common rail systému

Vstřikovací systém Common rail, využit pro laboratorní měřicí zařízení, se skládá z vysokotlakého čerpadla, společného vysokotlakého zásobníku paliva – railu, injektoru, elektronické řídicí jednotky, snímače vysokého tlaku a vysokotlakého regulátoru DRV. Schéma CR systému pro měřicí zařízení je znázorněno na obr. 3.5.



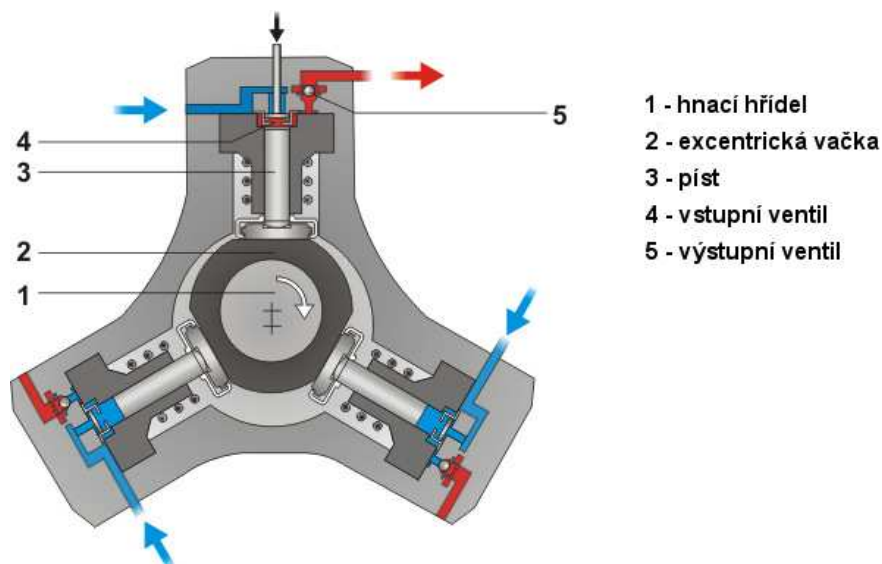
Obr. 3.5: Schéma CR systému pro měřicí zařízení [9]

Vysokotlaké čerpadlo je zpravidla s radiálními písty. Toto provedení je rozměrově i cenově nejvýhodnější. Aby byl objem dodávaného paliva co možná nejrovnoměrnější, používá se lichého počtu pístů. V laboratorním zařízení je použito pro stlačení paliva tři pístové čerpadlo, písty rozmístěny radiálně každých 120 stupňů. Čerpadlo je zobrazeno na obr. 3.6.



*Obr. 3.6: Radiální vysokotlaké čerpadlo*

Čerpadlo je spojeno s elektromotorem a je od něj poháněno. Hnací hřídel čerpadla pohybuje třemi písty čerpadla nahoru a dolů podle tvaru vačky. Jakmile podávací tlak překročí hodnotu otevíracího tlaku pojistného ventilu, je palivo přes vstupní ventil nasáváno do válce vysokotlakého čerpadla. Píst se pohybuje směrem dolů. Po překročení nejnižší polohy pístu ve válci, dojde k uzavření vstupního ventilu. Píst se vrací nahoru, palivo se začne stlačovat. Stoupající tlak otevírá vypouštěcí ventil a v okamžiku dosažení správného tlaku se stlačené palivo dostane do vysokotlakého obvodu. Princip čerpadla zobrazen na obr. 3.7.



*Obr. 3.7: Princip radiálního vysokotlakého čerpadla v příčném řezu [11]*

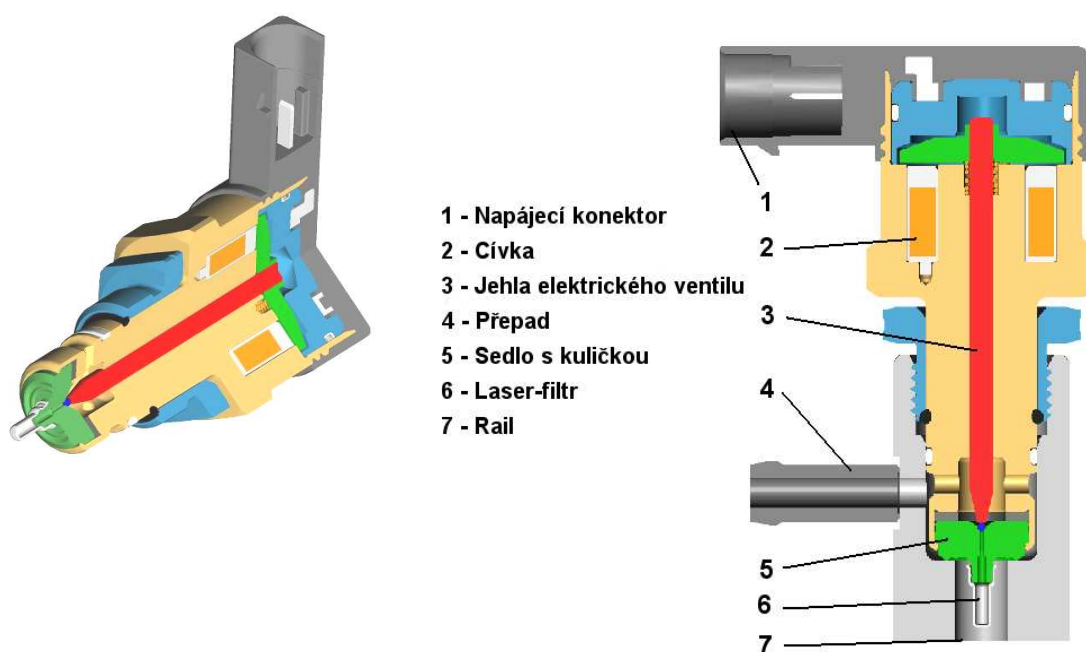
V zásobníku se tlumí výkyvy tlaku, které vznikají při činnosti pístového vysokotlakého čerpadla, ale zejména tlakovými vlnami během vstřikování paliva. Hladina tlaku paliva je řízena pomocí regulačního obvodu s uzavřenou zpětnou vazbou, která zahrnuje tlakový senzor, řídicí jednotku a vysokotlaký regulátor tlaku. Na obr. 3.8 je zobrazen rail použit v měřicím zařízení.



*Obr. 3.8: Zásobník paliva v měřicím zařízení*

Regulátor nastavuje tlak paliva soustavy v celém provozním rozsahu motoru podle charakteristik uložených v paměti řídicí jednotky. V laboratorním zařízení je použit vysokotlaký regulátor DRV (Druck Regel Ventil), ten zaručuje

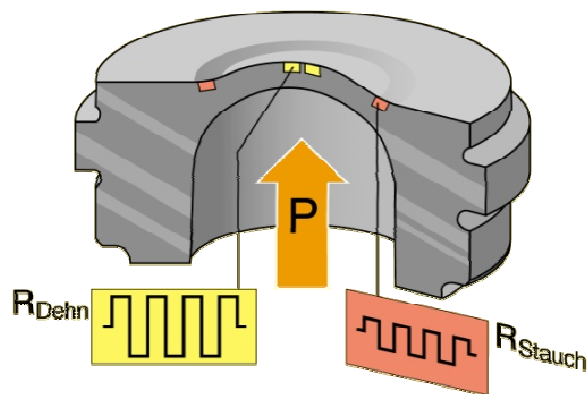
dostatečnou rychlost regulace a extrémně nezatěžuje řídicí jednotku. Ing. Čáp [9] uvádí, že se konstrukčně jedná o cívku, jejíž kotva spojená s jehlou ventilu tlačí kuličku do sedla ventilu. V sedle ventilu je otvor o průměru 0,7 mm, kulička má průměr 1,2 mm. Před otvor v sedle ventilu se lisuje kovový filtr s otvory o průměru 60 µm, který zabraňuje zanesení ventilu nečistotami. Ventil je ovládán signálem s pulzně-šířkovou modulací (PWM) a může jím protékat až 250 l/h. Na obr. 3.9 je zobrazen řez vysokotlakým regulátorem.



*Obr. 3.9: Řez vysokotlakým regulátorem [9]*

Ke snímání tlaku v zásobníku slouží tlakový snímač od firmy Bosch s rozsahem do 160 MPa. Výstupní signál tohoto snímače se přivádí do řídicí jednotky, kde se srovnává skutečný tlak s naprogramovaným a v případě odchylky se vytváří korekční signál pro regulátor tlaku. Podle [9] je stanoveno, že napájecí napětí senzoru je 5 V, přičemž úroveň signálu se pohybuje v rozsahu od 0,5 do 4,5 V. Není-li výstupní signál v tomto rozmezí, řídicí jednotka detekuje poruchu snímače. Měřicí princip je znázorněn na obr. 3.10. Kovová membrána snímače se působícím tlakem deformuje a spolu s ní se deformuje i odporový můstek. Vyvážení můstku je vyhodnocováno elektronikou snímače.





Obr. 3.10: Znáznornění konstrukce snímače vysokého tlaku [9]

V laboratorním měřicím zařízení vstřikování paliva do spalovacího prostoru zajišťuje jeden vysokorychlostní injektor s integrovanou tryskou. Je tedy zapotřebí pouze jeden vývod paliva z railu, ostatní otvory v railu pro umístění vysokotlakých trubek jsou zazáplatované. Injektor je ovládán elektrickým signálem z řídicí jednotky. Elektrické otevírání trysek je elektromagnetické. Jeden pracovní cyklus tak může být rozdělen do několika izolovaných vstřiků. V laboratorním zařízení je injektor nastaven pouze na jeden hlavní vstřik. Použitý injektor je zobrazen na obr. 3.11.



Obr. 3.11: Injektor

Měřené palivo je nutné vstříknout pod vysokým tlakem (desítky MPa) a v krátkém čase (jednotky ms). Na začátku vstřikování se musí vstřikovací tlak



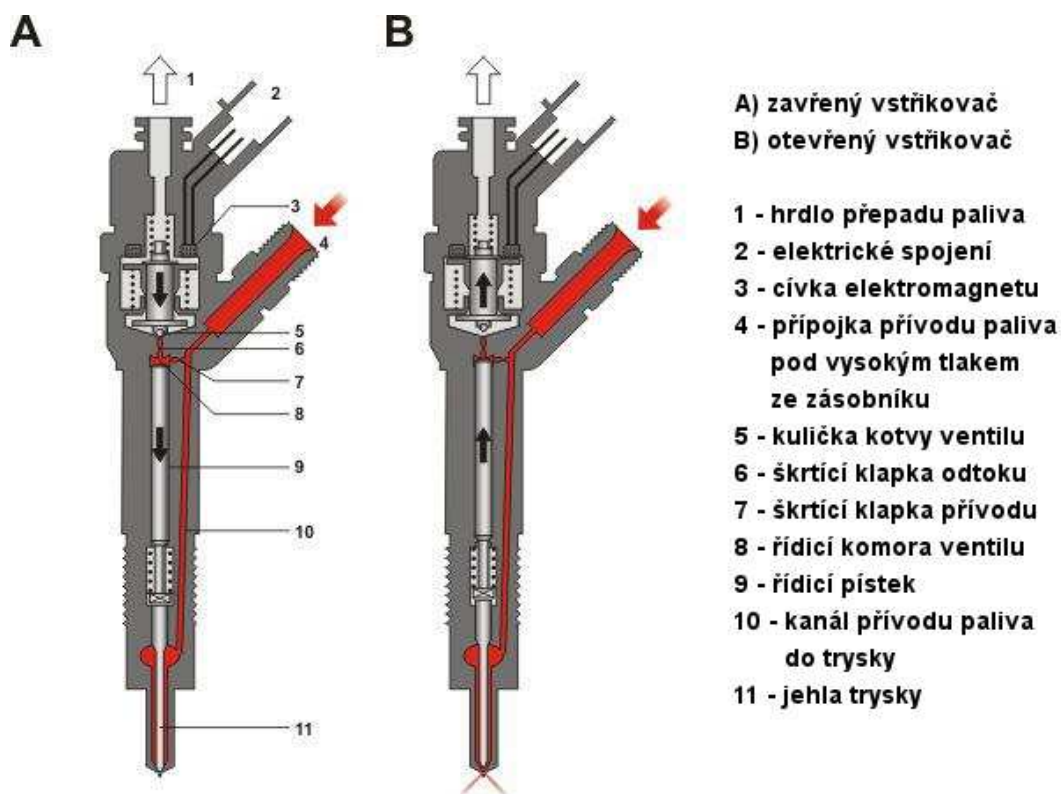
dostat co nejrychleji na jmenovitou hodnotu a při ukončování vstřikování musí zase co nejrychleji klesnout na nulovou hodnotu.

Princip elektromagnetického ovládání trysky vysvětluje Ferenc [6] tak, že palivo se dostává vysokotlakým přívodem přes hrdlo s tyčovým filtrem ke vstřikovací trysce a současně přes přítokovou tlumící trysku do řídicího prostoru ventilu. Řídicí prostor je spojen přes tlumící trysku odtoku se zpětným odtokem přebytečného paliva. Tlumící tryska může být otevírána elektromagnetickým ventilem. Jestliže je vinutí elektromagnetu bez napětí, je tryska odtoku uzavřena kuličkou ventilu, přitlačovanou silou ventilové pružiny. V řídicím prostoru ventilu a na vstřikovací jehle trvá stejný systémový tlak.

Protože plocha řídicího pístu ventilu je na jeho horním konci větší než plocha osazení dříku jehly v tlakové komoře a na obě plochy působí stejný tlak paliva, je síla působící v řídicím prostoru ventilu větší. Jehla trysky je tlačena do sedla tělesa a uzavírá vstřikovací otvory proti spalovacímu prostoru válce.

Přivede-li se na vinutí elektromagnetu napětí, překoná jeho magnetická síla sílu přitlačné pružiny ventilu působící na uzávěr odtokové tlumící trysky. Uzávěr se otevře, tlak paliva v řídicím prostoru klesne a trvalý tlak paliva v tlakové komoře pod osazením dříku nadzvedne jehlu. Jehla otevře vstřikovací otvory a palivo je vstřikováno do spalovací komory. Jakmile se přeruší přívod napětí k vinutí elektromotoru, síla pružiny ventilu zatlačí přes kotvu elektromagnetu ventilovou kuličku do jejího sedla a tryska odtoku se uzavře.

Tlak paliva přiváděného do řídicího prostoru se opět zvýší na stejnou úroveň, jako v tlakové komoře. Obnoví se hydraulický tlak na řídicí píst a ten spolu se silou pružiny nad horním koncem jehly velmi rychle zatlačí jehlu do sedla. Vstřikovací otvory se uzavřou a vstřikování paliva je ukončeno. Na obr. 3.12 je znázorněno schéma při otevřeném a zavřeném vstřikovači.



Obr. 3.12: Elektromagnetický vstřikovač Common rail [11]

### 3.4.2 Pohon čerpadla

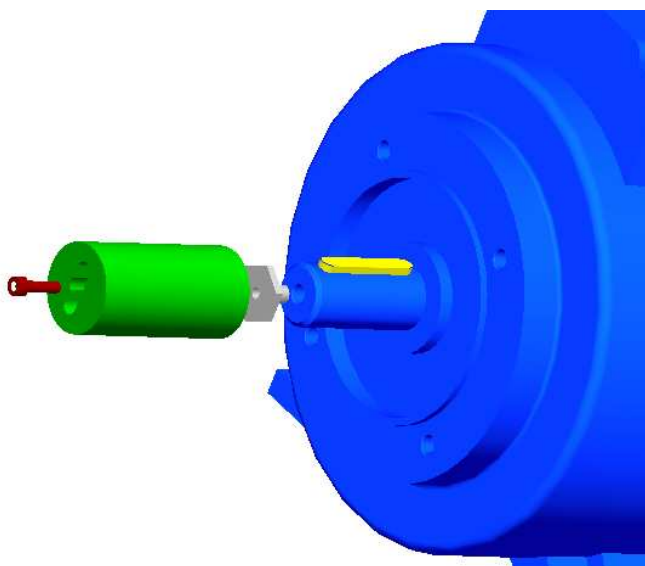
Vysokotlaké čerpadlo je poháněno elektromotorem Siemens 1LA7115-6AA17. Jedná se o trojfázový asynchronní motor typové řady 1LA7. Motor je šesti-pólový s maximálním výkonem 3kW a otáčkami  $940 \text{ min}^{-1}$ . Je opatřen patkou a malou přírubou. K motoru je připojen frekvenční měnič pro plynulou regulaci otáček.

Při navrhování spojování obou zařízení byla snaha vytvořit co nejkratší vzdálenost mezi oběma díly tak, aby spojovací členy byly snadno výrobitelné a zajišťovali souosost a dostatečnou pevnost. Další podmínkou byla snadná montáž a demontáž. Konečné provedení je zobrazeno na obr. 3.13.



*Obr. 3.13: Spojení elektromotoru a vysokotlakého čerpadla*

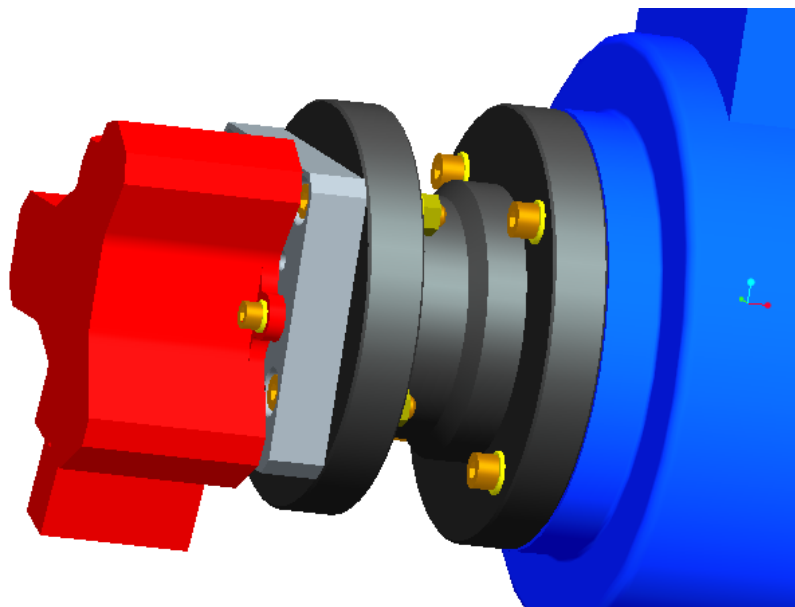
Na hřídel elektromotoru o průměru 28 mm je nasazen spojovací hřídel, který je zajištěn proti pootočení perem. Proti posunutí je spojovací hřídel zajištěn v ose hřídele šroubem s válcovou hlavou se závitem M5. Na hřídeli elektromotoru je díra se závitem M10, pro přechod na závit M5 je vyroben závitový přechod. Na vnějším čele spojovacího hřídele je kromě díry pro šroub vyfrézována drážka, do které zapadá vyčnívající profil hřídele čerpadla. Tím je zajištěn pohon čerpadla. Jednotlivé díly jsou zobrazeny na obr. 3.14.



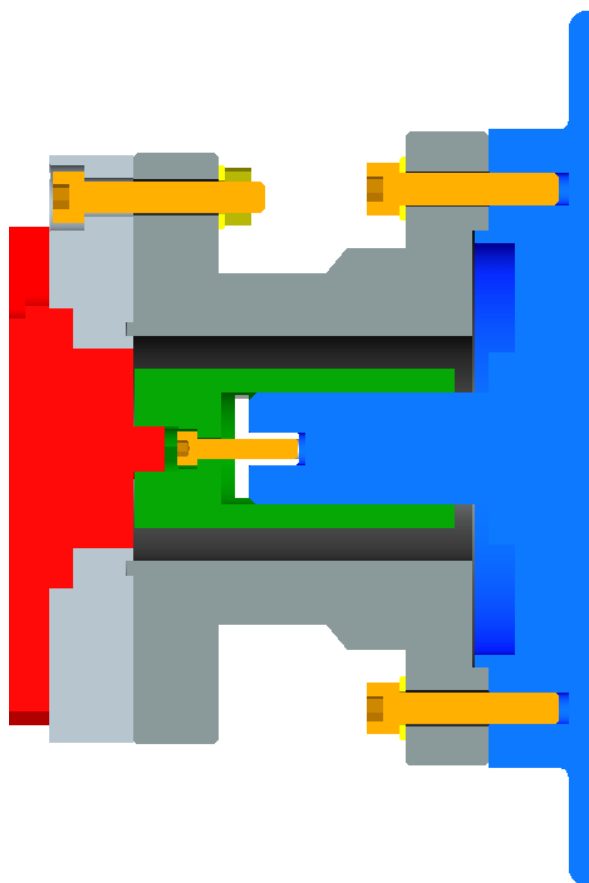
*Obr. 3.14: Spojení spojovací hřídele s hřídelí elektromotoru  
vymodelované v programu Pro/Engineer*

Pro zajištění větší pevnosti a souososti je vyroben spoj tvaru trubky s přírubami na obou koncích. Příruba na jedné straně je nasazena na přírubě elektromotoru a přišroubována k ní čtyřmi šrouby s válcovou hlavou velikosti M8. Příruba na druhé straně je upevněna k desce čerpadla opět čtyřmi šrouby s válcovou hlavou ze strany desky a z druhé strany šestihrannou maticí. Jedná se opět o šrouby M8. Na desku čerpadla je z druhé strany nasazeno a přišroubováno čerpadlo v poloze potřebné pro další použití. K tomu slouží opět šrouby s válcovou hlavou a závitem M6.

Konečné provedení je zobrazeno na obr. 3.14, na obr. 3.15 je vymodelovaný spoj z bližšího pohledu a barevným znázorněním, na obr. 3.16 je řez spojením.



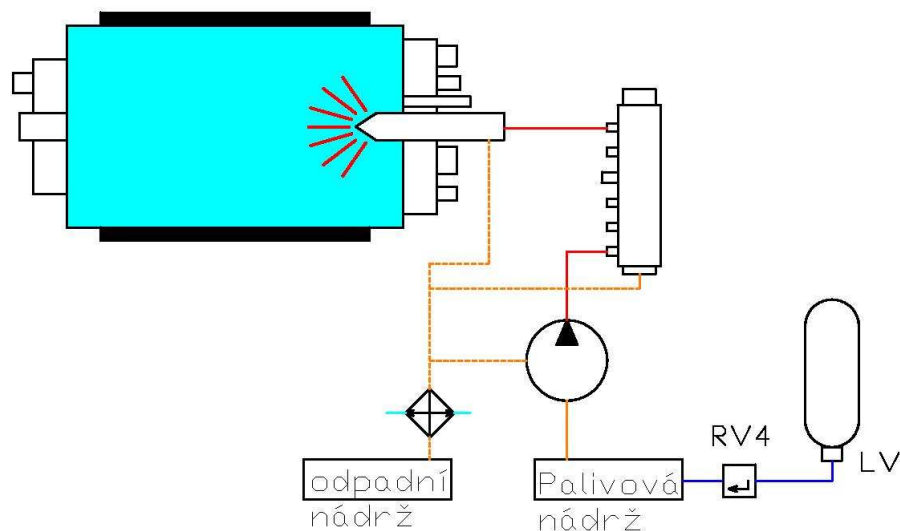
*Obr. 3.15: Spojení elektromotoru a čerpadla vymodelované v programu Pro/Engineer*



*Obr. 3.16: Spojení elektromotoru a čerpadla v řezu vymodelované v programu Pro/Engineer*

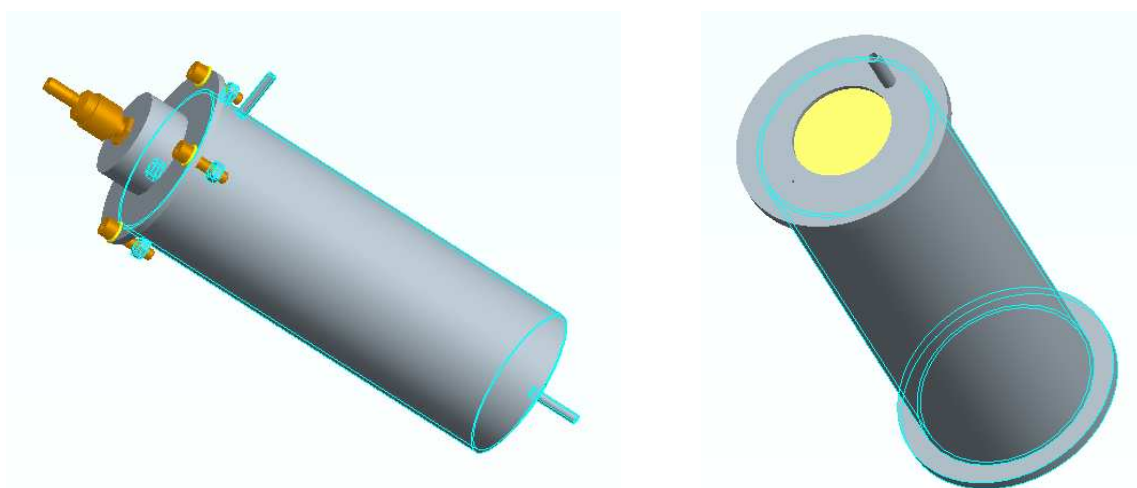
### 3.4.3 Uložení paliva

Palivo je do čerpadla přiváděno z palivové nádrže. Palivová nádrž je válcového tvaru s odvodem paliva ze dna nádrže. Nádrž je tlakově uzavřená. K dopravě paliva z nádrže do čerpadla je potřeba tlak zhruba 15 barů. Ten se získá přivedením stlačeného vzduchu z tlakové láhve přes redukční ventil RV4, jak je znázorněno na schématu v obr. 3.17. K přepravě paliva z nádrže do čerpadla slouží gumová hadička, která je schopna přenášet tento tlak. K přepravě paliva ve vysokotlaké části oběhu, tedy mezi čerpadlem a railem a mezi railem a injektorem je zapotřebí používat vysokotlaké trubky. Na obr. 3.17. je červeně znázorněn vysoký tlak a oranžově nízký tlak.



Obr. 3.17: Rozvod paliva

Přebytečné palivo z čerpadla, zásobníku paliva a injektoru je odváděno do odpadní nádrže, ta je také válcového tvaru se vstupem pro palivo v hlavě nádrže. Palivo je v oběhu zahříváno, proto přebytečné palivo před vstupem do odpadní nádrže prochází ještě chladičem. K odvodu paliva ze zmiňovaných součástí není zapotřebí vysoký tlak, proto jsou použity gumové hadičky. Odpadní nádrž není tlakově uzavřena. Na obr. 3.18 jsou znázorněny obě nádrže.



Obr. 3.18: Vlevo palivová nádrž, vpravo odpadní nádrž vymodelované v programu Pro/Engineer



### 3.4.4 Uspořádání palivového systému

Všechny části palivového systému jsou umístěny na vozíku. Spojení elektromotoru s čerpadlem je pomocí patky elektromotoru přišroubováno k desce. Ta je vyrobena s rozměrem vnitřní šířky vozíku a pomocí šroubů uchycena ve spodní části vozíku. Rail je pomocí držáků uchycen ke střednímu patru vozíku vodorovně nebo šikmo, jak je znázorněno na obr. 3.19.

Poloha railu a umístění spodního spoje s elektromotorem bude závislé na konečném umístění všech potřebných součástí zařízení na zjišťování vznětlivosti na vozíku. Musí být brán ohled i na spojení čerpadla s railem. K tomu slouží vysokotlaká trubka s průměrem 6 mm a délkou 447 mm. Trubka bude podle potřeby vytvarována s tím, že konce trubky musí být nasměrovány do railu i čerpadla přímo. Ke spojení trubky s railem i čerpadlem slouží závitová přípojka.

Při umísťování railu na vozík musí být brán ohled i na spojení railu s injektorem. Injektor je umístěn v ose spalovací komory, která je v horní části vozíku. Opět je využita vysokotlaká trubka s průměrem 6 mm a délkou 447 mm, která bude vytvarována do správného tvaru a uchycena k součástem přípojkou.



*Obr. 3.19: Umístění některých částí zařízení ještě před konečnou úpravou*

Palivová nádrž válcového tvaru může být uchycena v horní nebo střední části vozíku a s čerpadlem je spojena gumovou hadičkou. Odpadní nádrž bude umístěna ve spodní části vozíku.

## 4 Vyhodnocení cetanového čísla

Nejvýznamnější rozdíl připravovaného zařízení od zařízení již vyráběného bude ve způsobu vyhodnocení měření. IQT firmy Waukesha Engine využívá k určení hodnoty CČ čas průtahu vznícení, který je stanoven podle začátku nárůstu tlaku v komoře. Naměřený čas v milisekundách se dosadí do vzorce (2) a výsledkem je naměřené CČ.

$$CN_{IQT} = 83,99 \cdot (ID_{IQT} - 1,512)^{0,658} + 3,547 \quad (2)$$

Navrhované zařízení je konstruováno tak, aby bylo více použitelných výstupů pro stanovení CČ než pouze průběh tlaku v komoře. K vyhodnocení více veličin je vybrána jedna z metod statistické analýzy vícerozměrných dat. Konkrétně se jedná o diskriminační analýzu.

Jako diskriminátory mohou být použity tyto veličiny: průběh tlaku v komoře, průběh teploty v komoře, vizuální průběh vyhoření, teplota a tlak vstřikovaného vzorku.



## 5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout palivovou část zařízení pro měření vznětlivosti paliva a vyhotovit potřebnou výkresovou dokumentaci pro tvorbu funkčního zařízení.

Palivový systém laboratorního zařízení na zjišťování vznětlivosti paliva je řešen systémem Common rail. Systém Common rail je jednodušší přizpůsobit a zabudovat do laboratorního zařízení než systém čerpadlo – tryska. Hlavní části, jako je čerpadlo, zásobník paliva (rail) a injektor jsou od firmy Bosch Jihlava.

Přílohou k bakalářské práci je výkresová dokumentace, ta je tvořena jednotlivými vyrobenými komponenty, sestavou k pohonu čerpadla a sestavami obou palivových nádrží. Mimo palivový systém je výkres vstupního čela.

Kompletní laboratorní zařízení před odevzdáním této bakalářské práce nebylo ještě celé sestaveno, proto nebylo možná zařízení odzkoušet.

## Seznam použité literatury

- [ 1 ] Auer, J.: Zařízení ke zjišťování vznětlivosti motorových paliv. (diplomová práce) Katedra vozidel a motorů TUL Liberec 2007.
- [ 2 ] Matějovský, V.: Automobilová paliva. Grada 2005.
- [ 3 ] Alaxin, P.: Nové směry v stanovení cetanového čísla. Mezinárodní sympózium Motorové paliva 2004. Slovnaft Bratislava, Vyhne 2004.
- [ 4 ] Vlk, F.: Paliva a maziva motorových vozidel, Brno 2006.
- [ 5 ] Beroun, S., Scholz, C., Blažek, J.: Parametry hoření motorových paliv ve válci pístových spalovacích motorů. Mezinárodní sympózium Motorové paliva 2002. Slovnaft Bratislava, Vyhne 2002.
- [ 6 ] Ferenc, B.: Spalovací motory: Karburátory a vstřikování paliva, Computer Press 2004.
- [ 7 ] Beroun, S., Scholz, C.: Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů, Liberec 1999.
- [ 8 ] Beroun, S., Cerha, J.: Příslušenství pohonných jednotek, Liberec 1989.
- [ 9 ] Čáp, J., Kremláček, P.: Pressure control in BOSCH Common Rail injection systém. International Conference on Hydraulics and Pneumatics, Praha 2008.
- [ 10 ] IQT<sup>TM</sup>: Ignition quality tester for diesel fuel
- [ 11 ] internetové stránky: [www.turbo-tec.eu](http://www.turbo-tec.eu)